

2. Зубарев В.Н., Козлов А.Д., Кузнецов В.М., Сергеева Л.В., Спиридонов Г.А. Теплофизические свойства технически важных газов при высоких температурах и давлениях: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 232 с.

УДК 621.6.04

И. С. Парышев, В. Н. Королев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ КВАЗИКАПИЛЛЯРНОСТИ В НЕПОДВИЖНОМ ПРОДУВАЕМОМ ЗЕРНИСТОМ СЛОЕ

Аннотация

Экспериментально исследован необычный эффект, заключающийся в том, что если трубку опустить в неподвижный продуваемый зернистый слой, то внутри трубки частицы слоя начинают интенсивно перемещаться вверх, вследствие чего высота слоя частиц в трубке значительно превышает высоту неподвижного слоя за ее пределами. Показано, что высота подъема и характер движения частиц напрямую зависят от внутреннего диаметра трубки и размера частиц слоя.

Ключевые слова: неподвижный зернистый слой; твердые частицы; трубка; дисперсная среда.

Abstract

The unusual effect, consisting that if a tube to lower in a motionless blown granular layer inside a tube of a particle of a layer intensively start to move upwards owing to what the height of a layer of particles in a tube considerably exceeds height of a motionless layer behind its limits is experimentally investigated. It is shown, that the height of rise and character of movement of particles directly depend on internal diameter of a tube and the size of particles of a layer.

Keywords: Motionless granular layer; firm particles; a tube; the disperse environment.

Если полый цилиндр (трубку) опустить в неподвижный продуваемый зернистый слой, то высота, на которую поднимается дисперсная среда внутри трубки, превосходит высоту неподвижного слоя в аппарате. Этот эффект внешне напоминает классическое явление капиллярности. Однако в данном случае правильнее говорить не о капиллярности, а о квазикапиллярности, так как классическое явление капиллярности связано с явлением поверхностного натяжения, возникающего между молекулами жидкости, находящейся в узкой трубке, и ее стенками. В зернистых средах это явление связано с тем, что соприкосновение сыпучего материала с жесткой стенкой нарушает случайную хаотическую структуру пристенного слоя и упорядочивает ее на глубину 3...4 диаметров частиц [1]. Это приводит к возрастанию гидравлического радиуса, т.е. уменьшению сопротивления и увеличению проходного сечения для газа [2].

Исследования явления квазикапиллярности в неподвижных продуваемых зернистых средах в литературе отсутствуют.

Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния внутреннего диаметра трубки, опущенной в неподвижный продуваемый зернистый слой, на характер и скорость движения дисперсной среды по трубке.

Исследование проводилось на установке квадратного сечения 0,1×0,1 м (рис. 1) состоящей из дутьевой камеры (7) с газораспределительным устройством (1), в качестве которого использовалась перфорированная решетка, на которую насыпались частицы корунда эквивалентным диаметром 0,52 мм. Под газораспределительную решетку подавался воздух со скоростью, не превышающей скорости начала псевдооживления частиц. В центре аппарата вер-

тикально крепились трубки (2) внутренним диаметром от 1,5 мм до 14 мм. Отношение диаметра трубки ($d_{тр}$) к размеру частиц ($d_ч$) слоя изменялось примерно от 2 до 22. Высота насыпного слоя была 100 мм, а нижний конец трубки находился на высоте 50 мм от газораспределительной решетки. Верхний конец трубки входил в канал-отвод (3), откуда частицы сыпались в емкость (4), установленную на электронных весах (6), подключенных к персональному компьютеру (5). Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

При продувке плотного слоя воздух, фильтруясь в межчастичечном пространстве, движется в направлении меньшего сопротивления. Таким местом является внутренняя полость трубки. По мере увеличения перепада давления на решетке воздух вследствие пониженного (по сравнению со слоем) сопротивления внутренней полости трубки с большой скоростью устремляется внутрь ее, и в результате эжекции происходит интенсивный подсос твердых частиц из пространства, примыкающего к нижнему торцу трубки. Дисперсная среда без дополнительной затраты энергии движется вверх по каналу сплошным потоком или поршнями, идущими друг за другом, или только несколько приподнимаясь над слоем (рис. 2).

Визуально было установлено, что при $d_{тр}/d_ч \leq 2$ движения частиц по трубке нет. Начиная с $d_{тр}/d_ч = 4$ (рис. 2, а) наблюдался стабильный подъем частиц на всю высоту трубки с фонтанированием на ее свободном конце. При увеличении $d_{тр}/d_ч$ до 5,5–6 интенсивность подъема частиц (их количество и скорость движения в трубке) возрастала. В трубке диаметром 4 мм ($d_{тр}/d_ч$ равного 6,5, рис. 2, б) частицы двигались группами, образуя поршни. Поршневой режим движения дисперсной среды сохранялся и при $d_{тр}/d_ч$ более 7–10, но высота, на которую поднимались поршни, с увеличением диаметра трубок уменьшалась. При $d_{тр}/d_ч > 11,5$ высота подъема поршней была недостаточна для преодоления высоты трубки (рис. 2, в). При $d_{тр}/d_ч > 20$ никакого эффекта не наблюдалось.

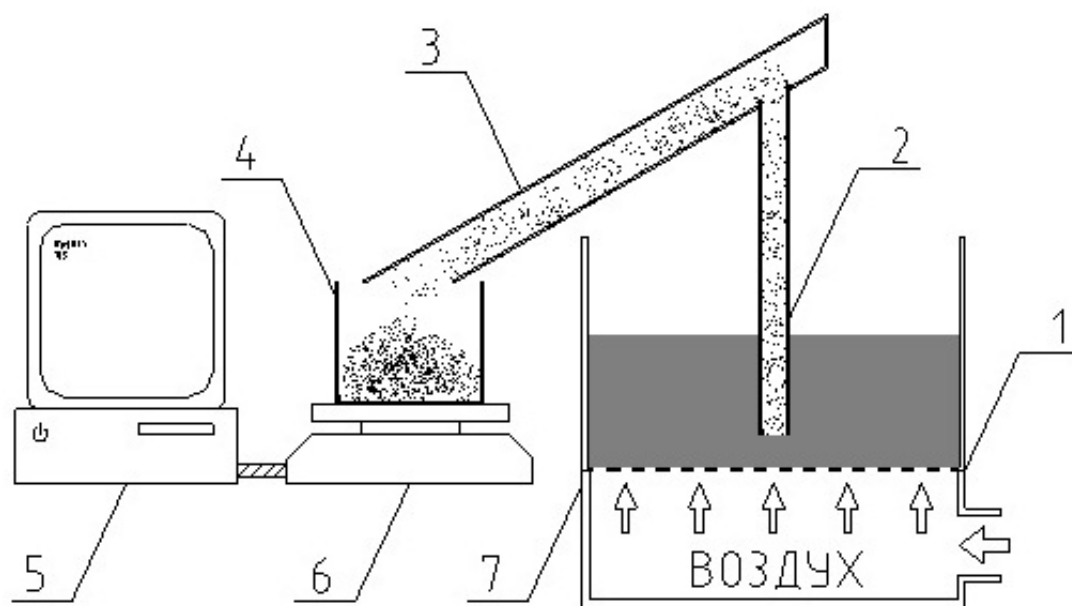
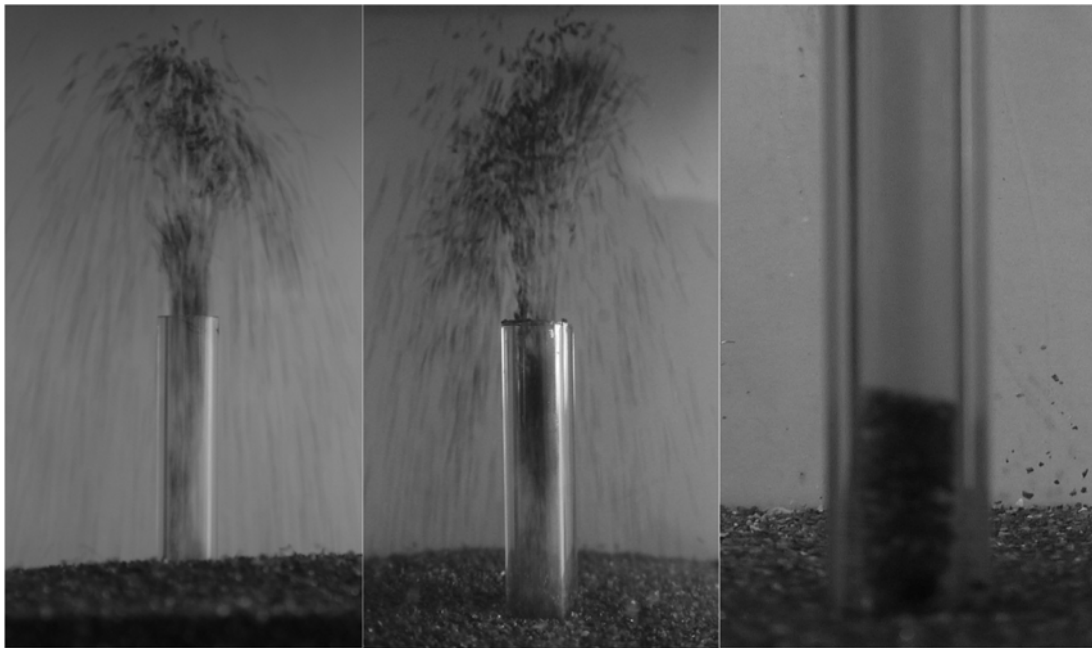


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – газораспределительная решетка; 2 – полая стеклянная трубка; 3 – канал-отвод;
4 – емкость приема сыпучей среды; 5 – персональный компьютер; 6 – электронные весы;
7 – дутьевая камера

В следующей серии экспериментов исследовалась зависимость массы удаленных из слоя частиц при расположении нижнего торца трубки на расстоянии 50 мм от газораспределительной решетки. Масса удаляемых из слоя частиц корунда измерялась электронными весами в режиме реального времени нарастающим итогом. Опрос результата увеличения массы проводился автоматически каждые 20 миллисекунд.

Изменение массы удаляемых частиц из слоя во времени показано на рис. 3.



а

б

в

Рис. 2. Истечение сыпучего материала из трубки, опущенной в слой:
 $a - d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 10$; $б - d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 10,5$; $в - d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 11,5$

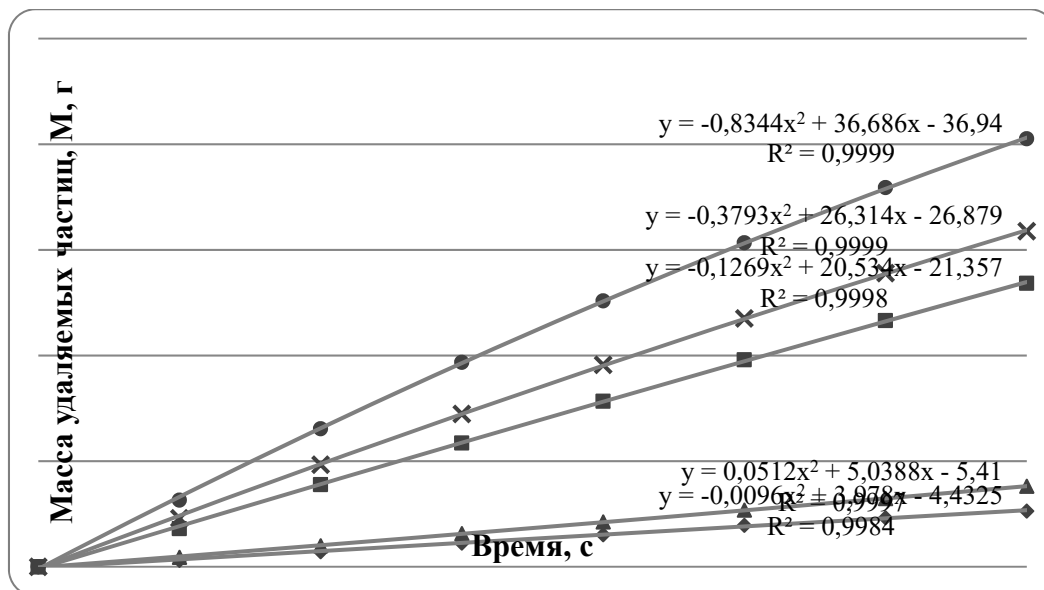


Рис. 3. Изменение массы удаляемых из слоя частиц во времени
 ◆ – $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 3,8$; ▲ – $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 5,2$; ■ – $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 6,8$; × – $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 7,6$; ● – $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 8,8$

Из рис. 3 следует, что чем больше отношение внутреннего диаметра трубки к диаметру частиц, тем масса, а, следовательно, и скорость удаляемых из слоя частиц больше.

Установлено, что по мере погружения трубки в неподвижный слой массовая доля частиц, удаляемых из слоя, растет и ее величина максимальна, когда нижний конец трубки находится на расстоянии 5 мм от газораспределительной решетки (рис. 4).

Объясняется это тем, что с уменьшением расстояния между торцом трубки и газораспределительной решеткой сопротивление слоя ($\Delta P_{\text{сЛ}} = \rho_{\text{ч}} \cdot g \cdot (1 - \varepsilon) \cdot H_{\text{сЛ}}$) вне трубки увеличивается (больше высота слоя) и расход воздуха через трубку возрастает, а вместе с ним увеличивается и расход транспортируемых частиц дисперсного материала по трубке.

Проведенные исследования показали путь решения задачи, связанной с разделением компонентов дисперсной сыпучей среды, различающихся размером [3]. Отличительной особенностью экспериментально исследованного способа удаления мелкой фракции из крупнозернистого слоя с целью повышения его однородности по размерам частиц является отсутствие экологического загрязнения окружающей среды, так как слой, из которого удаляется мелкая фракция, является неподвижным. Повышение однородности сыпучих материалов по размерам осуществляется без дополнительных затрат энергии на отвод и транспортировку мелких частиц, энергия затрачивается только на минимальное ожижение удаляемой из слоя фракции.

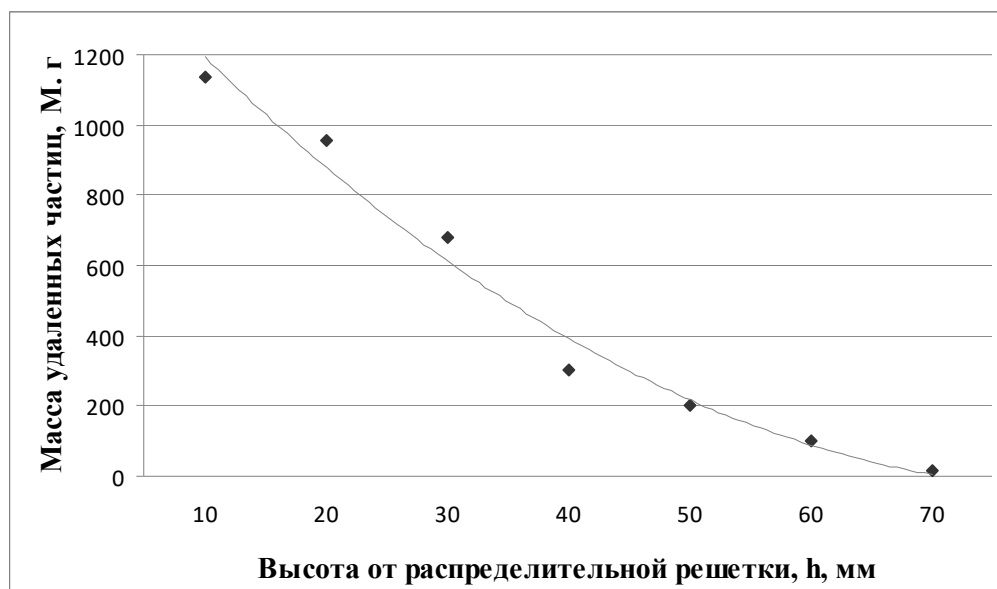


Рис. 4. Влияние глубины погружения трубки в слой (♦ – $d_{тр}/d_{ч} = 3,8$)

Список использованных источников

1. Красных В.Ю., Толмачев Е.М., Королев В.Н. Квазикапиллярные эффекты в псевдоожиженных средах // Инженерная физика. 2007. № 2. С. 19–22.
2. Krasnykh V.Yu., Korolev V.N., Ostrovskaya A.V., Nagornov S.A. Pneumatic transportation of dispersed medium through a vertical tube immersed into a fluidized bed // Thermal engineering. 2013, Volume 60, No. 11, Pages 787–790.
3. Пат. 2594494 Р.Ф., МПК В07В 4/08. Способ удаления мелких частиц из крупнозернистого слоя сыпучих материалов / Королев В. Н., Амарская И. Б., Бармина О. А., Островская А. В., Красных В. Ю. // Изобретения. Полезные модели. 2016. Бюл. №23.

УДК 666.9.041:621.365.2:662.612.321/322

И. В. Плесакин, Г. В. Воронов, И. В. Глухов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАГРУЗКЕ ШИХТЫ И РАСПОЛОЖЕНИЮ ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ДСП-120

Аннотация

Насыпная плотность шихты, загружаемой в дуговые сталеплавильные печи (ДСП), является важнейшим параметром, определяющим продолжительность периодов плавки